



Поиск аномальных вершин в формализме вершинной функции для процесса рождения Z-бозона с фотоном в эксперименте ATLAS

Чехонина А.А.,

ст.гр. Б20-102

Научный руководитель: Солдатов Е.Ю.,

к.ф.- м.н., доцент,

Научный консультант: Семушин А.Е. ,

инженер

Москва, 2023



Цели и задачи

Цель работы: развитие метода постановки ограничений, получение более строгих пределов на константы связи в вершинном формализме.

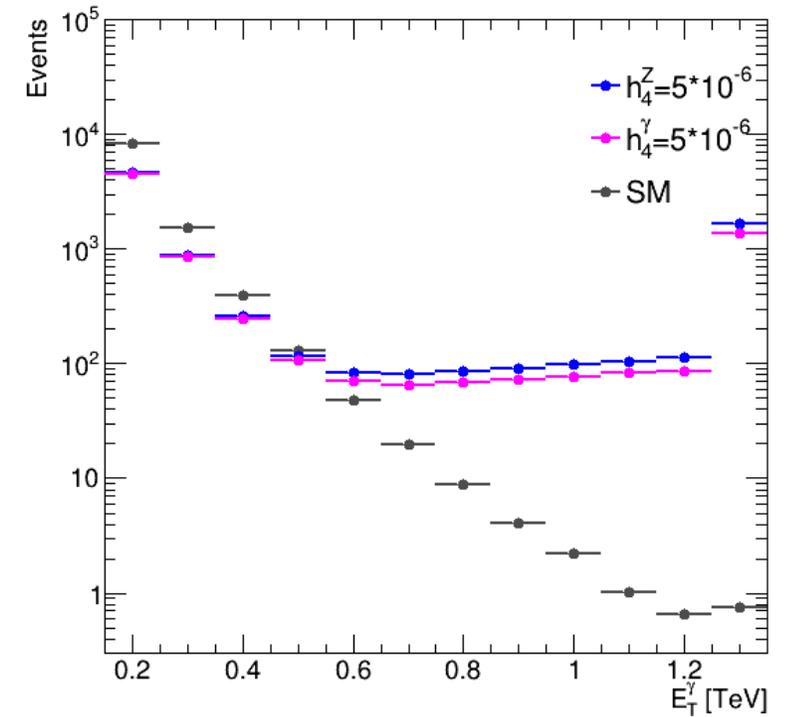
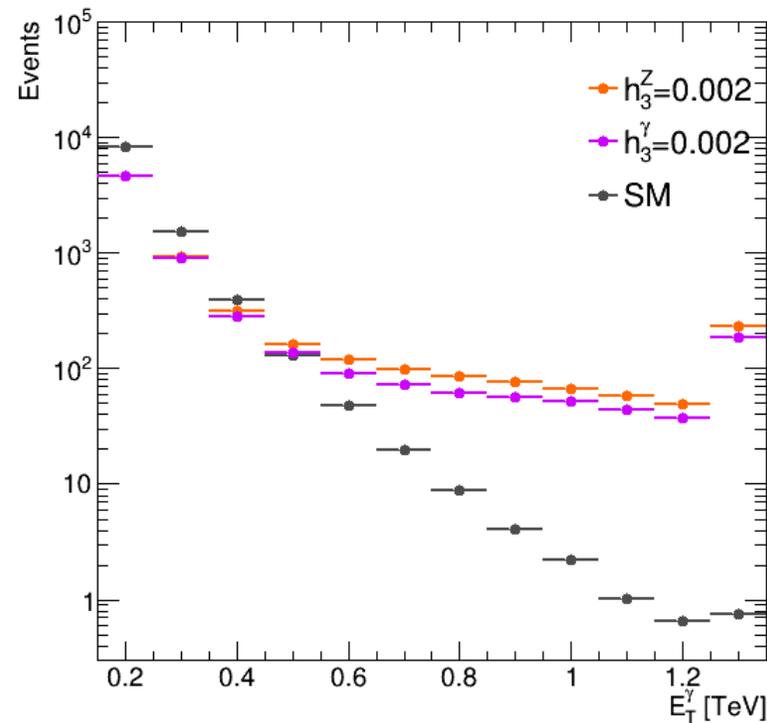
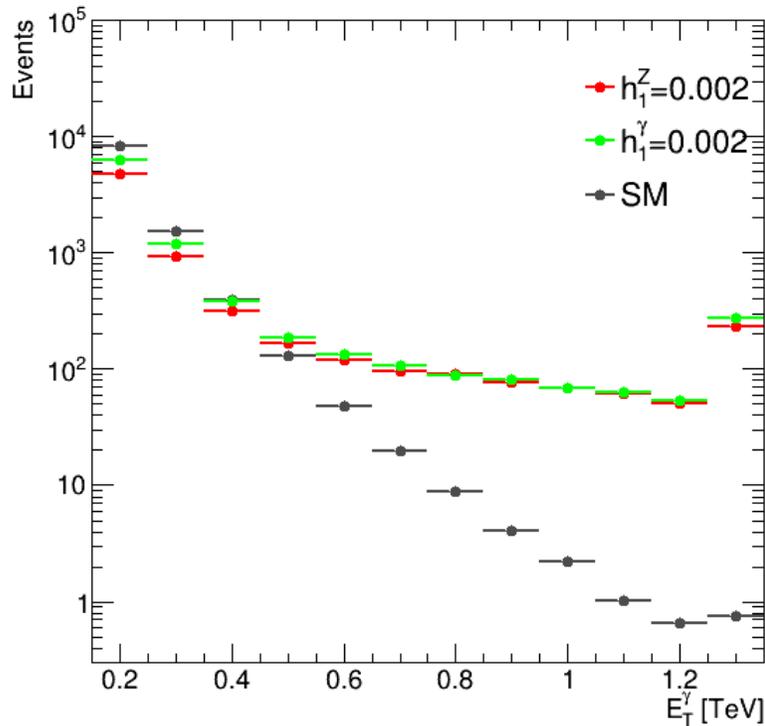
В рамках поставленной цели нужно выполнить следующие **задачи**:

- определить наиболее чувствительную к аномальным взаимодействиям переменную;
- произвести Монте-Карло моделирование рождения Z-бозона с фотоном с учетом аномальных вершин и без них;
- поставить пределы на коэффициенты связи.

Вершинная функция

$$\Gamma_{Z\gamma V}^{\alpha\beta\mu}(q_1, q_2, P) = \frac{i(P^2 - m_V^2)}{m_Z^2} \left\{ h_1^V (q_2^\mu g^{\alpha\beta} - q_2^\alpha g^{\mu\beta}) + \frac{h_2^V}{m_Z^2} P^\alpha [(P q_2) g^{\mu\beta} - q_2^\mu P^\beta] - h_3^V \epsilon^{\mu\alpha\beta\rho} q_{2\rho} - \frac{h_4^V}{m_Z^2} P^\alpha \epsilon^{\mu\beta\rho\sigma} P_\rho q_{1\sigma} \right\}.$$

Наиболее чувствительная переменная – поперечная энергия фотона.



Использовался **метод декомпозиции** т. е. наборы сгенерированы отдельно для линейного, квадратичного слагаемого и слагаемого, отвечающего СМ.

$$\mathcal{A} = \mathcal{A}_{SM} + h_i \mathcal{A}_i$$

$$|\mathcal{A}|^2 = |\mathcal{A}_{SM}|^2 + h_i 2\text{Re}\mathcal{A}_{SM}^\dagger \mathcal{A}_{NP} + h_i^2 |\mathcal{A}_{NP}|^2$$

Для моделирования отдельных слагаемых используется **MadGraph5**.

Процесс и отборы

- Монте-Карло моделирование: MadGraph5 + Pythia8 (адронизация) + Delphes3 (симуляция детектора с геометрией ATLAS) для первой оценки пределов в ведущем порядке теории возмущений.
- Фоны не учитываются
- Методика применена к процессу рождения $Z(\nu\bar{\nu})\gamma$
- События с 1 фотоном, с отбором $E_T^\gamma > 150$ ГэВ, для $N_{jet} \geq 0$ и $N_{jet} = 0$

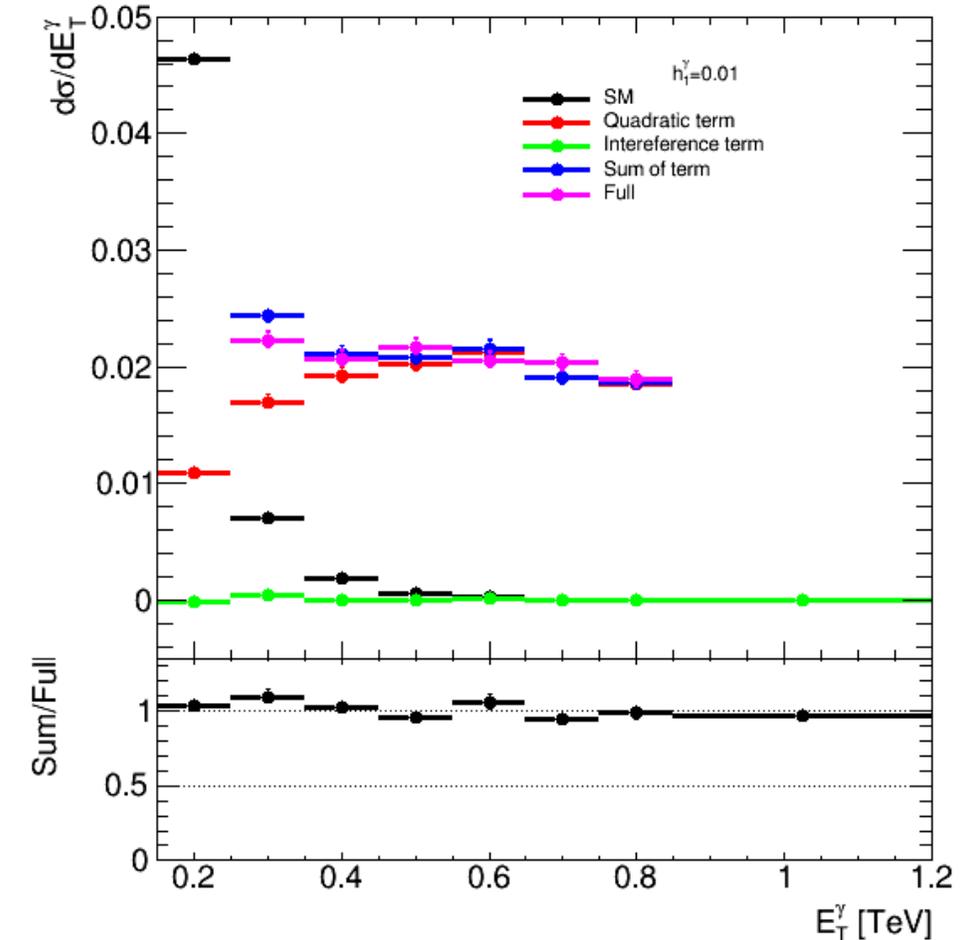


Таблица 1: Ожидаемые одномерные пределы с доверительной вероятностью 95% на $h_1^Z, h_1^\gamma, h_3^Z, h_3^\gamma, h_4^Z, h_4^\gamma$, полученные методом оптимизации. Для каждой строки все параметры, кроме исследуемого, устанавливаются равными 0.

Параметр	Порог	$N_{jet} \geq 0$	Порог	$N_{jet} = 0$	Экспериментальные данные
h_1^Z	0.8	$(-2.7 \times 10^{-4}, 2.7 \times 10^{-4})$	0.7	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.6 \times 10^{-4})$	$(-3.3 \times 10^{-4}, 3.3 \times 10^{-4})$
h_1^γ	0.8	$(-3.2 \times 10^{-4}, 3.1 \times 10^{-4})$	0.7	$(-3.1 \times 10^{-4}, 2.9 \times 10^{-4})$	$(-3.7 \times 10^{-4}, 3.7 \times 10^{-4})$
h_3^Z	0.8	$(-2.7 \times 10^{-4}, 2.8 \times 10^{-4})$	0.7	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.7 \times 10^{-4})$	$(-3.2 \times 10^{-4}, 3.3 \times 10^{-4})$
h_3^γ	0.8	$(-3.0 \times 10^{-4}, 3.3 \times 10^{-4})$	0.7	$(-2.9 \times 10^{-4}, 3.2 \times 10^{-4})$	$(-3.7 \times 10^{-4}, 3.7 \times 10^{-4})$
h_4^Z	0.9	$(-5.4 \times 10^{-7}, 5.4 \times 10^{-7})$	0.9	$(-5.2 \times 10^{-7}, 5.2 \times 10^{-7})$	$(-4.5 \times 10^{-7}, 4.4 \times 10^{-7})$
h_4^γ	0.9	$(-6.1 \times 10^{-7}, 6.0 \times 10^{-7})$	0.9	$(-5.9 \times 10^{-7}, 5.8 \times 10^{-7})$	$(-4.4 \times 10^{-7}, 4.3 \times 10^{-7})$

Используются Монте-Карло статистические погрешности, систематическая погрешность принята равной 10%.

Пределы с вето на струи точнее, чем в инклюзивном случае.

- Изучен и улучшен метод постановки пределов на параметры взаимодействия в формализме вершинной функции для процесса рождения Z-бозона в ассоциации с фотоном;
- определена переменная, наиболее чувствительная к аномальным взаимодействиям - поперечная энергия фотона;
- с помощью Монте-Карло моделирования сгенерированы наборы с учетом аномальных взаимодействий и без них;
- поставлены ограничения на коэффициенты связи;
- поставленные пределы оказались более строгими для коэффициентов $h_1^Z, h_1^\gamma, h_3^Z, h_3^\gamma$

Дальнейшие планы:

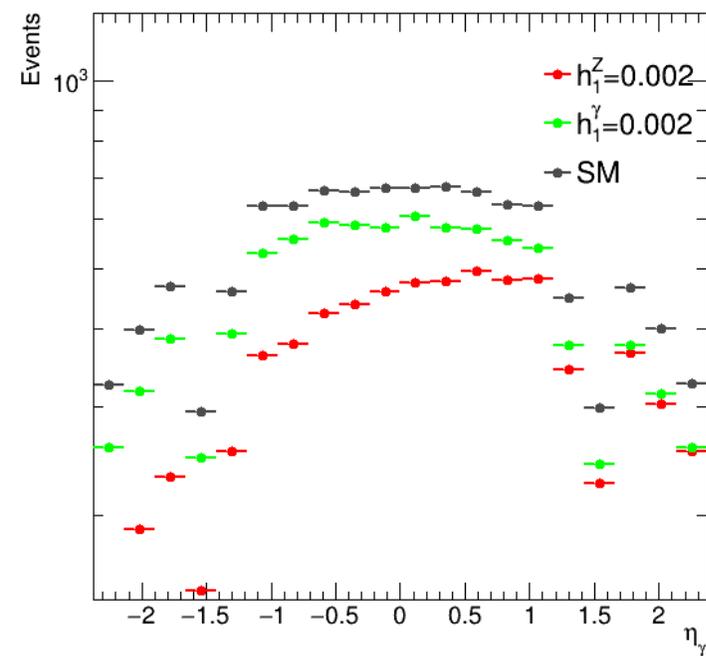
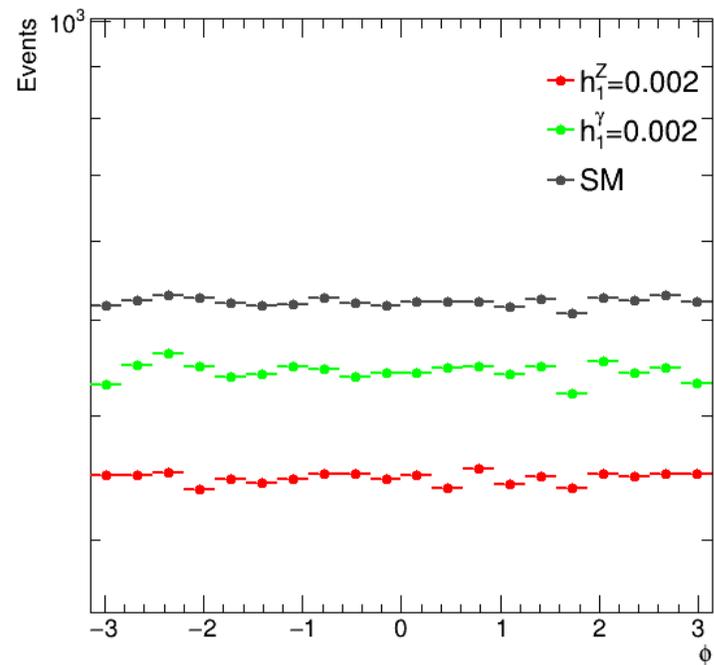
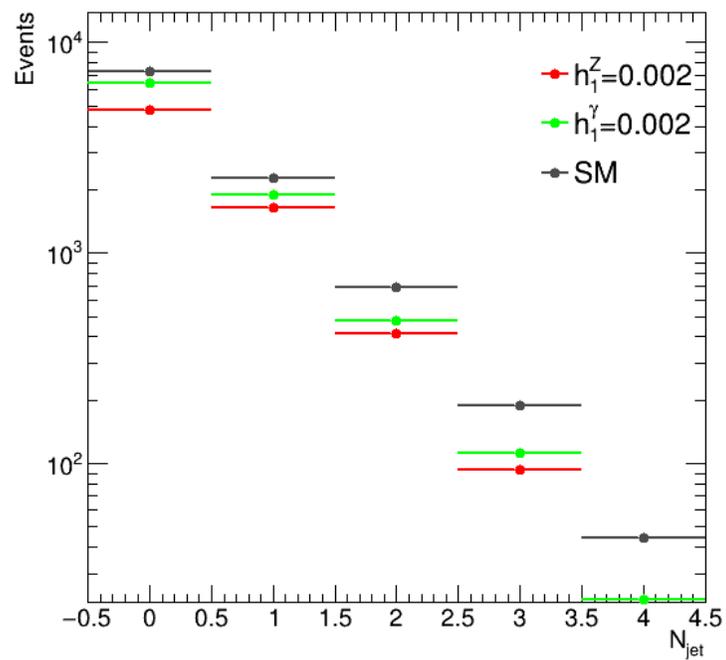
- создать модель более близкую к реальному процессу, т.е. добавить фоновые процессы, поставить пределы;
- получить наборы с учетом дополнительных адронных струй, поставить пределы, оценить их влияние на результат.

Спасибо за внимание!



Back-Up

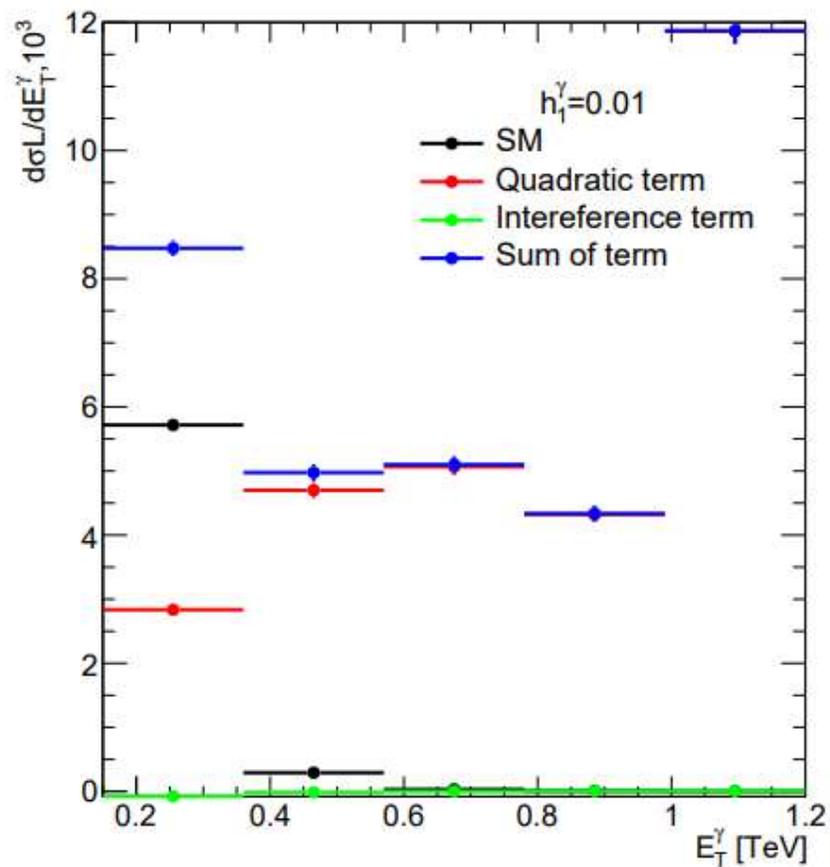




SM			
Порог	Количество событий	абс. ошибка	отн. ошибка
0.2	2672	45	0.01
0.4	212	13	0.06
0.6	29	5	0.16
0.7	11	3	0.26
0.8	7	2	0.37
0.9	4	2	0.41
1	3	2	0.49

$h_1^?$	интерференционное слагаемое			квадратичное слагаемое			нижний предел	верхний предел	сумма	
	порог	Количество событий	абс. ошибка	отн. ошибка	Количество событий	абс. ошибка				отн. ошибка
0.2		-4027	3959	0.98	$2.2 \cdot 10^8$	$2.8 \cdot 10^6$	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$-3.48 \cdot 10^{-3}$	$3.49 \cdot 10^{-3}$	$6.9 \cdot 10^{-3}$
0.4		146	2446	16.8	$1.8 \cdot 10^8$	$2.5 \cdot 10^6$	$1.37 \cdot 10^{-2}$	$-5.78 \cdot 10^{-4}$	$5.77 \cdot 10^{-4}$	$1.15 \cdot 10^{-3}$
0.6		970	1586	1.63	$1.3 \cdot 10^8$	$2.1 \cdot 10^6$	$1.62 \cdot 10^{-2}$	$-5.27 \cdot 10^{-4}$	$5.19 \cdot 10^{-4}$	$1.04 \cdot 10^{-3}$
0.7		1456	1260	0.86	$1.05 \cdot 10^8$	$1.91 \cdot 10^6$	$1.81 \cdot 10^{-2}$	$-3.23 \cdot 10^{-4}$	$3.09 \cdot 10^{-4}$	$6.3 \cdot 10^{-4}$
0.8		873	970	1.11	$7.9 \cdot 10^7$	$1.66 \cdot 10^6$	$2.1 \cdot 10^{-2}$	$-3.17 \cdot 10^{-4}$	$3.06 \cdot 10^{-4}$	$6.2 \cdot 10^{-4}$
0.9		49	741	15.3	$5.7 \cdot 10^7$	$1.40 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^{-2}$	$-3.48 \cdot 10^{-4}$	$3.47 \cdot 10^{-4}$	$6.9 \cdot 10^{-4}$
1		873	557	0.64	$3.6 \cdot 10^7$	$1.11 \cdot 10^6$	$3.1 \cdot 10^{-2}$	$-4.00 \cdot 10^{-4}$	$3.76 \cdot 10^{-4}$	$7.7 \cdot 10^{-4}$

$$N_{jet} \geq 0$$



$$N_{jet} = 0$$

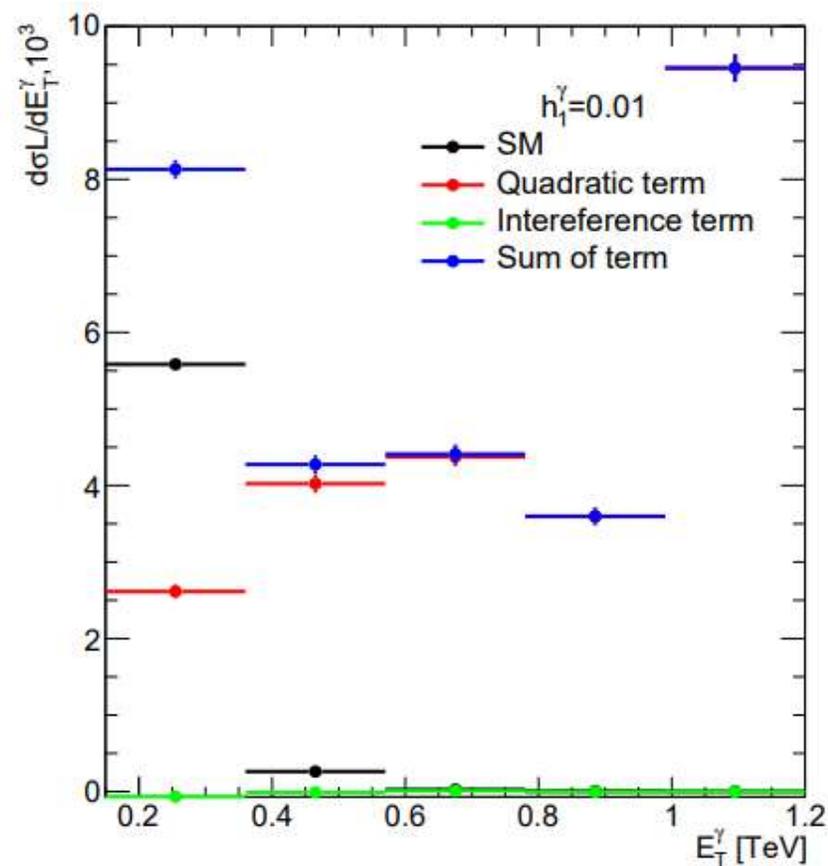


Таблица 2 — Ожидаемые одномерные пределы с доверительной вероятностью 95% на $h_1^Z, h_1^\gamma, h_3^Z, h_3^\gamma, h_4^Z, h_4^\gamma$, полученные из распределений. Для каждой строки все параметры, кроме исследуемого, устанавливаются равными 0.

Параметр	$N_{jet} \geq 0$	$N_{jet} = 0$
h_1^Z	$(-2.7 \times 10^{-4}, 2.6 \times 10^{-4})$	$(-2.8 \times 10^{-4}, 2.8 \times 10^{-4})$
h_1^γ	$(-3.1 \times 10^{-4}, 3.0 \times 10^{-4})$	$(-3.2 \times 10^{-4}, 3.2 \times 10^{-4})$
h_3^Z	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.7 \times 10^{-4})$	$(-2.7 \times 10^{-4}, 2.8 \times 10^{-4})$
h_3^γ	$(-3.0 \times 10^{-4}, 3.2 \times 10^{-4})$	$(-3.4 \times 10^{-4}, 3.4 \times 10^{-4})$
h_4^Z	$(-5.2 \times 10^{-7}, 5.1 \times 10^{-7})$	$(-5.5 \times 10^{-7}, 5.5 \times 10^{-7})$
h_4^γ	$(-5.9 \times 10^{-7}, 5.8 \times 10^{-7})$	$(-6.2 \times 10^{-7}, 6.1 \times 10^{-7})$

Статистический метод

$$t_{\mu} = -2 \ln \frac{L(\mu, \hat{\theta}(\mu))}{L(\hat{\mu}, \hat{\theta})},$$

